

## Análise dos Parâmetros de Resistência de um Solo Melhorado com Aditivo a Base de Hidróxido de Cálcio

Thais Menezes Santana

Graduada em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil, thaismenezes159@gmail.com

Guilherme Bravo de Oliveira Almeida

Professor, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil, gboa@academico.ufs.br

Erinaldo Hilário Cavalcante

Professor, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil, erinaldohc@gmail.com

Robert Matheus Santos Santana

Graduado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil, engrobertsantana@gmail.com

**RESUMO:** A garantia da segurança em obras geotécnicas é de extrema relevância, uma vez que os colapsos causados por suas rupturas podem acarretar perdas materiais e humanas. Em virtude disso, a análise da estabilidade dos taludes a serem executados é crucial para as obras de terra. Muitas técnicas podem ser aplicadas para contornar situações de instabilidade. Uma das soluções empregadas é a realização do melhoramento do solo destinado ao corpo do talude, com o objetivo de aumentar os parâmetros de resistência ao cisalhamento, correspondendo ao ângulo de atrito interno e intercepto coesivo. Dessa forma, com o objetivo de observar a influência que um estabilizante químico a base de hidróxido de cálcio transmite aos parâmetros de resistência do solo, foi realizado um programa experimental que envolveu ensaios triaxiais CU em misturas de solo fino adicionado a 5% do aditivo, em relação à massa de solo seco. O tempo de cura foi de sete dias. A análise realizada levou em destaque as variações do ângulo de atrito interno e do intercepto coesivo em relação ao solo sem aditivo. Foi observado um comportamento cimentante do estabilizante, o que forneceu às misturas um aumento de 170% no valor do intercepto coesivo e um discreto aumento no valor do ângulo de atrito interno. Por fim, a aplicação dos parâmetros do solo melhorado em uma seção de talude acarretou o aumento do fator de segurança em 65%. Portanto, o estabilizante químico, testado na porcentagem indicada com um solo fino, promoveu melhorias significativas na parcela de resistência coesiva do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estabilização de Solo, Ângulo de Atrito, Intercepto Coesivo, Ensaio Triaxial.

**ABSTRACT:** The assurance of safety in geotechnical works is of utmost importance, as collapses caused by their failures can lead to material and human losses. Therefore, the analysis of slope stability to be executed is crucial for earthworks. Many techniques can be applied to overcome instability situations. One of the solutions employed is soil improvement for the slope body, aiming to increase shear strength parameters, corresponding to the angle of internal friction and cohesive intercept. Thus, in order to observe the influence that a calcium hydroxide-based chemical stabilizer imparts on soil strength parameters, an experimental program was conducted involving consolidated undrained triaxial tests on mixtures of fine soil added with 5% of the additive, relative to the dry soil mass. The curing time was seven days. The analysis highlighted variations in the angle of internal friction and cohesive intercept compared to soil without additive. A cementitious behavior of the stabilizer was observed, which provided mixtures with a 170% increase in cohesive intercept value and a slight increase in the value of angle of internal friction. Lastly, the application of improved soil parameters in a slope section resulted in a 65% increase in the safety factor. Therefore, the chemical stabilizer, tested at the indicated percentage with fine soil, brought significant improvements in the cohesive resistance portion of the soil.

**KEYWORDS:** Soil Stabilization, Friction Angle, Cohesive Intercept, Triaxial Test.

## 1 INTRODUÇÃO

A engenharia civil possui diversas vertentes de atuação. Todas elas têm em comum o interesse em atender parâmetros, diga-se pilares, de qualidade, otimizar os custos e, principalmente, garantir a segurança dos futuros usuários que irão usufruir da edificação.

A geotecnia, área de atuação da engenharia civil que trabalha com enfoque no solo, não seria diferente. A preocupação pela qualidade, custo e segurança são prioridades no momento de execução de projetos geotécnicos, tais como fundações, barragens, contenções e aterros. Todas são obras de grande responsabilidade, já que geralmente são de alto custo e requerem elevado conhecimento técnico ao lidar com um material tão heterogêneo como o solo.

É comum a verificação de ocorrências de ruptura de aterros rodoviários em todo o Brasil. Muitos erros de projeto e construtivos podem culminar na ruptura de um aterro: desleixo no planejamento ou execução dos aparelhos de drenagem, estudo precário do solo de fundação, determinação incorreta dos parâmetros de resistência a partir de correlações empíricas pouco representativas na região em estudo e inexistência de análises de estabilidade.

Existem diversas intervenções que podem ser adotadas para aumentar o fator de segurança de um talude, sendo que cada uma delas irá depender das características da obra e de seu entorno. Inicialmente, pode-se pensar na solução de retaludamento, em que se diminui o ângulo de inclinação do talude. Essa solução pode ser inviável devido a questões de espaço e custo.

Antes de estudar as possíveis soluções, é recorrente realizar o estudo das jazidas mais próximas da obra que atendam aos requisitos de projeto. O estudo da viabilidade é de suma importância, visto que as ocorrências de jazidas com materiais que atendem aos requisitos das normas podem estar em grandes distâncias, aumentando os custos, sendo necessário pensar em soluções como a estabilização.

Com o intuito de otimizar a solução, o emprego da estabilização de solos pode ser adotado com a intenção de melhorar alguns parâmetros de interesse para o projeto de engenharia. Materiais com características cimentantes são exemplos de estabilizantes que fornecem o melhoramento mecânico muitas vezes desejado para os projetos geotécnicos.

Em função da importância do estudo de soluções que melhorem os parâmetros condizentes com a análise de estabilidade de taludes, esta pesquisa tem o objetivo de verificar a eficácia do uso do estabilizante químico à base de hidróxido de cálcio. Tal estudo se mostra pertinente, uma vez que os fornecedores garantem o aumento do módulo do material, podendo, comumente, ser representado pelo ISC (Índice de Suporte Califórnia), mas nada é mencionado a respeito de ganhos nos valores de intercepto coesivo e ângulo de atrito. A hipótese sugerida é que a adição de um certo teor do estabilizante tornará o solo mais resistente, mais coeso e menos susceptível a deformações, levando em consideração, por exemplo, os resultados obtidos por Santana (2023) e Júnior (2016). Tal verificação será comprovada por meio de ensaios laboratoriais e análises dos fatores de segurança por meio de simulações em software.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental desta pesquisa consiste na realização de ensaios com amostra de solo puro e com mistura de solo e estabilizante químico, permitindo a determinação dos parâmetros de resistência necessários para avaliar o fator de segurança de um aterro rodoviário através do método de Bishop, que consiste em um método de equilíbrio limite que considera as forças verticais entre as fatias correspondendo a zero, com o intuito de diminuir incógnitas e tornar possível o cálculo do equilíbrio estático entre as cargas atuantes e resistentes (GERSCOVICH, 2016).

Neste tópico são apresentadas informações sobre o solo, tais como localização de coleta e as normas técnicas para realização dos ensaios. Além disso, estão descritas as características do estabilizante químico utilizado na pesquisa. No item Resultados e Discussão serão apresentados todos os resultados dos ensaios do solo puro e das misturas com o aditivo, incluindo a simulação com o software GeoStudio.

## 2.1 Materiais

O solo escolhido foi proveniente da região do município de Siriri, estado de Sergipe, a cerca de 51 km da capital Aracaju. A escolha desse material foi feita devido a sua possível utilização para finalização de trecho de aterro rodoviário da BR-101, localizado na entrada do município. Segundo levantamento geológico realizado por Jacomine et al. (1975), esse solo faz parte da Formação Barreiras, pertencendo à classe PV1 (podzólico vermelho amarelo) (GEOINFO, 2018), através do mapa exploratório de reconhecimento de solos do estado de Sergipe.

O estabilizante químico utilizado é um composto constituído a base de hidróxido de cálcio, de cor acinzentada e pulverulento, semelhante ao pó de cimento Portland. Segundo informações dos fornecedores, suas características químicas o permitem ser armazenado a céu aberto, sem alteração da qualidade e eficiência. Também são informadas suas principais aplicações práticas, sendo uma delas a estabilização de camadas nobres do pavimento, por proporcionar melhoramento em parâmetros geomecânicos, impermeabilização e cimentação das partículas. O teor desse estabilizante foi de 5% em relação à massa de solo seco, porcentagem utilizada por Santana (2023), pesquisa realizada em paralelo a esta, que fez uso da mesma amostra de solo. Na Figura 1 é apresentada a amostra de solo e o estabilizante químico antes da realização da mistura.



Figura 1. Amostra de solo e do 5% de estabilizante químico antes da mistura.

## 2.2 Métodos

A amostra enviada ao laboratório foi preparada de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016a), colocando o material em bandejas para secagem até a umidade higroscópica, destorroamento com o almofariz e mão de gral e repartição de amostras. Após o preparo dessas, a caracterização física do solo teve início, seguida da determinação dos parâmetros de compactação e de resistência necessários ao tipo de estudo de estabilidade de taludes escolhido para a pesquisa, com escolha do ensaio triaxial CU (Consolidated Undrained).

Seguindo os procedimentos descritos na NBR 7181 (ABNT, 2016e), as etapas de peneiramento e sedimentação foram realizadas, sendo a sedimentação com uso do defloculante (hexametáfosfato de sódio). Para determinação da massa específica dos grãos, foi realizado o ensaio normatizado pela NBR 6458 (ABNT, 2016b). Por fim, os limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP) foram executados seguindo as normas NBR 6459 (ABNT, 2016c) e NBR 7180 (ABNT, 2016d), respectivamente.

Como descrito através da DNER-ME 228/94 (DNER, 1994), o ensaio de compactação em equipamento miniatura tem como objetivo determinar a massa específica aparente seca máxima e umidade ótima do material passante na peneira de 2 mm de abertura, através de corpos de prova miniatura. Para essa finalidade, realizaram-se cinco compactações na energia intermediária tanto para o solo puro como para a mistura.

Para o ensaio triaxial adensado não-drenado (CU), foi utilizada como referência a norma americana ASTM D4767-11 (ASTM, 2020). Foram compactados na umidade ótima quatro corpos de prova (CPs) de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, mantidos na câmara úmida durante sete dias de cura ao invés de vinte e oito dias, devido ao curto intervalo de tempo para realização dos ensaios. As tensões confinantes para os quatro CPs da mistura foram de 50, 100, 200 e 400 kPa, respectivamente. Após a realização das etapas de saturação e adensamentos, a etapa de rompimento foi executada para cada um dos CPs com a deformação constante de 0,50 mm/min, permitindo com que após 40 minutos os CPs deformem 20%. A norma ASTM D4767-11 (ASTM, 2020) afirma que, com 15% de deformação, a maioria dos CPs já são considerados rompidos.

Foram realizadas leituras de poropressão durante a realização dos ensaios da mistura. Porém, para fins de comparação com os resultados previamente disponíveis no laboratório referentes ao solo puro, os parâmetros obtidos a partir dos ensaios foram relacionados às tensões totais, pois o solo puro também foi ensaiado através do ensaio triaxial CU, mas sem medir a poropressão.

Os ensaios triaxiais CU para o solo puro executados previamente no laboratório foram realizados com três CPs variando a tensão confinante em 50, 100 e 200 kPa. A escolha da execução do quarto CP para a mistura, com tensão confinante correspondente a 400 kPa, decorre do interesse de verificar o comportamento do solo, quando aditivado quimicamente, ao se aplicar tensões confinantes maiores.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização dos Materiais

A Figura 2 ilustra as curvas granulométricas das amostras de solo puro e da mistura (solo e 5% de estabilizante químico). Outras informações referentes aos materiais estão apresentadas na Tabela 1.

Para ambas as amostras, percebe-se uma semelhança na fração passante pela peneira #200 (0,075 mm), indicando um solo fino, como também na massa específica dos grãos. Quanto aos limites, observa-se uma redução na plasticidade quando foi adicionado 5% do aditivo.

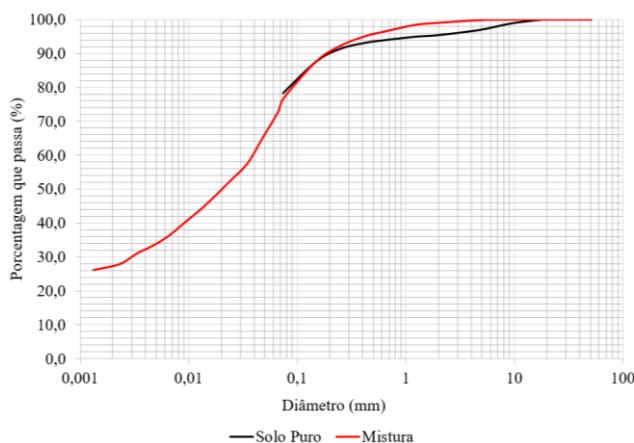


Figura 2. Curvas granulométricas do solo e da mistura.

Desses resultados, é possível notar que o estabilizante químico reduziu a plasticidade do solo. Levando isso em consideração, juntamente com a tendência da curva granulométrica do solo puro apresentar uma elevação nas frações de silte e argila, em comparação ao solo aditivado com o estabilizante (Figura 2), pode-se deduzir que a parcela fina do solo passou pelo processo de aglutinação, devido ao estabilizante químico, aumentando assim o tamanho das partículas. Resultados semelhantes podem ser observados por Portelinha et al. (2012) na verificação da mudança granulométrica e da plasticidade de dois solos tropicais melhorados com cimento e cal. Cruz e Jalali (2010) também explicam o processo de aglutinação das partículas do solo misturado com cimento, descrevendo uma modificação na fração argilosa. Porém, esse resultado (para o solo puro) não pôde ser confirmado com a etapa de sedimentação, em virtude da pequena quantidade de material restante da amostra em estudo. Por este motivo, não foi realizada a etapa da sedimentação e a curva apresentada para o solo puro não apresentou uma continuidade após a peneira #200.

Com o objetivo de determinar a massa específica aparente seca ( $\rho_d$ ) máxima e a umidade ótima ( $W_{otm}$ ) das amostras de solo puro e da mistura, foram realizados ensaios de compactação mini-proctor (Figura 3). Observa-se das curvas que houve uma redução na  $\rho_d$  e aumento na  $W_{otm}$  quando o solo foi aditivado com o estabilizante químico. A Tabela 1 resume os resultados de caracterização descritos.

Tabela 1: Resultados de caracterização para solo puro e solo melhorado.

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Classificação SUCS	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$W_{otm}$ (%)	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )
Solo puro	44	25	19	CL (argila de baixa plasticidade com areia)	2,70	16,1	1,90
Solo melhorado	38	27	11	ML (silte com areia)	2,77	17,4	1,85

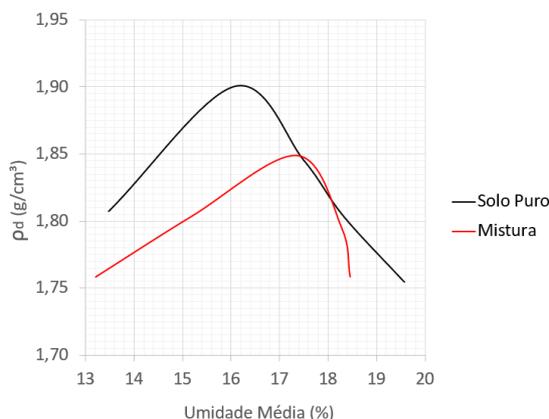


Figura 3. Curvas de compactação mini-Proctor do solo puro e da mistura.

### 3.2 Parâmetros de Resistência

Os resultados dos gráficos tensão desvio x deformação do solo puro e da mistura encontram-se na Figura 4 (a) e (b), respectivamente. Vale ressaltar que na época do ensaio triaxial com o solo puro, foi necessário repetir o ensaio do CP-02 e que as rupturas dos CPs do solo puro foram consideradas na deformação de 5%.

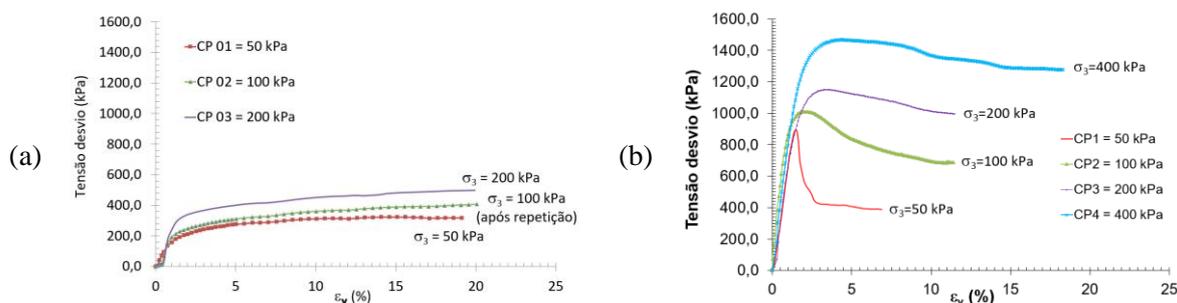


Figura 4. Gráfico tensão desvio x deformação axial para (a) solo puro e (b) solo + 5% de estabilizante.

Ao se observar a Figura 4, é possível notar alguns comportamentos destoantes. Os três gráficos correspondentes ao solo puro apresentaram comportamento de solos com ruptura dúctil (Figura 4 (a)), que seriam solos que apresentam grandes deformações com uma pequena variação na tensão desvio. Para os gráficos correspondentes à mistura (Figura 4 (b)), percebe-se que o CP-01 apresentou um pico acentuado com um valor de deformação pequeno. Dessa forma, é notório o comportamento frágil, comprovado pela forma de ruptura do CP, ilustrado na Figura 5 (a). Análogo a ele, o CP-02 da mistura, também apresentou pico de ruptura, entretanto, com maior suavidade. Já os CP-03 e CP-04 da mistura exibiram comportamento dúctil na ruptura. Como apontado por Pinto (2006) e Martins (2001), esse comportamento se deve à tensão de cedência que o estabilizante químico concedeu ao solo. Vale ressaltar que, segundo Pinto (2006), a tensão de cedência corresponde a uma tensão referente aos solos cimentados, fazendo com que as tensões de confinamento inferiores a esse valor permitam que a coesão proporcionada pela cimentação seja mobilizada inicialmente, fornecendo uma ruptura com pouca deformação. Os gráficos tensão desvio x deformação apresentados pelos autores Pinto (2006), Martins (2001) e Maccarini (1987) apud Martins (2001) se assemelham com os obtidos nesta pesquisa ao se adicionar o aditivo químico.

Adotando para comparação os CPs-01 do solo puro e da mistura, é possível observar a mudança de comportamento mecânico que o estabilizante químico transfere para o solo, devido à cimentação das partículas. Ainda em relação à Figura 5, é possível visualizar como ocorreu o rompimento dos CPs para cada tensão de confinamento.

A partir dos ensaios triaxiais CU é possível traçar a envoltória de ruptura, fornecendo os parâmetros de resistência totais de interesse da pesquisa. A Figura 6 ilustra o resultado das envoltórias de ruptura para o solo puro e a mistura, a partir do traçado dos círculos de Mohr. Observa-se que o valor de intercepto coesivo (c) para o solo puro já é consideravelmente alto, por ser um solo argiloso compactado na energia intermediária.

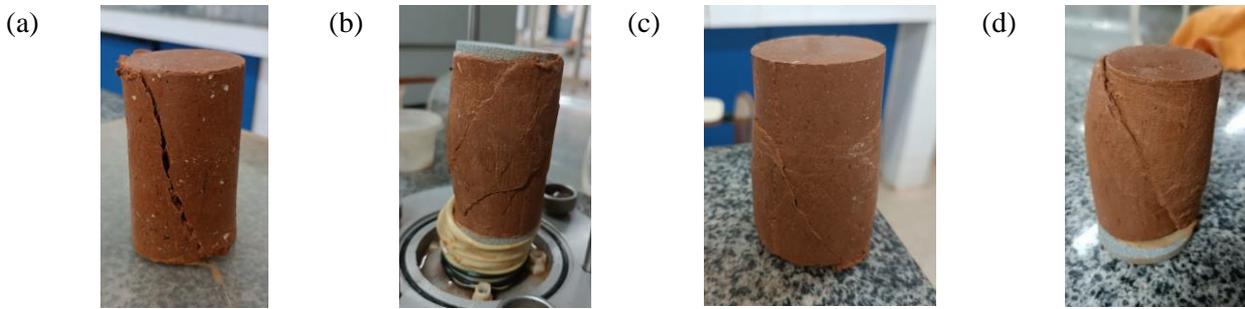


Figura 5. Ruptura dos CPs para a mistura com confinamento de 50 (a), 100 (b), 200 (c) e 400 kPa (d).

Dos resultados obtidos, percebe-se um aumento expressivo no valor do intercepto coesivo ( $c$ ), como também um crescimento no ângulo de atrito ( $\phi$ ), quando comparado ao solo puro. Portanto, o resultado obtido está coerente com valores alcançados pelos pesquisadores Sachetti (2014), Junior (2011) e Aguiar (2014), ao trabalharem com outros materiais estabilizantes. Uma suposição que pode ser levantada em relação ao aumento no ângulo de atrito é referente a aglutinação das partículas argilosas, tornando a área de contato maior e permitindo um melhor entrosamento entre os grãos.

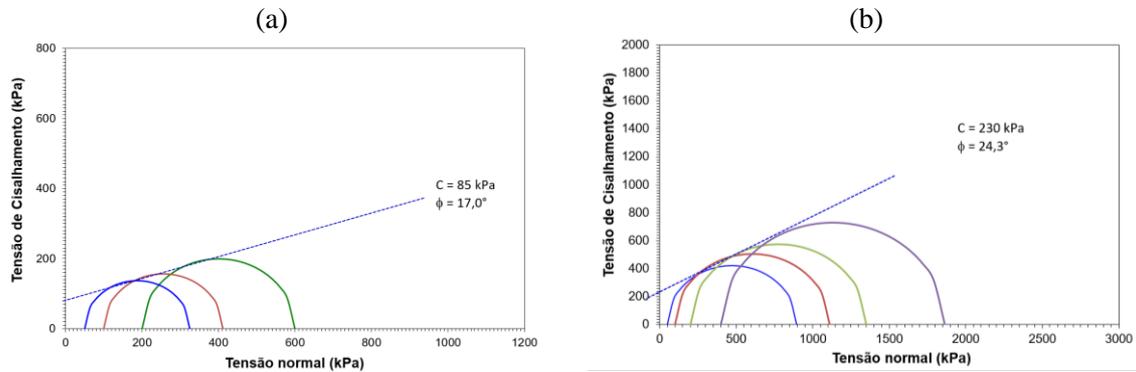


Figura 6. Envoltória de ruptura para (a) o solo puro e (b) solo + 5% de estabilizante.

É de suma importância destacar que os CPs foram ensaiados com sete dias de cura e mesmo assim o aumento no intercepto coesivo foi considerável. Pode-se deduzir então que, o estabilizante químico utilizado nesta pesquisa fornece elevado aumento no intercepto coesivo em poucos dias, semelhante ao cimento Portland, como apresentado por Sachetti (2014). Isso se deve à característica cimentante que ambos materiais possuem.

### 3.3 Análise de Estabilidade

Nesta pesquisa foi utilizada como exemplo uma das seções preliminares propostas para uma obra rodoviária, como apresentada na Figura 7.

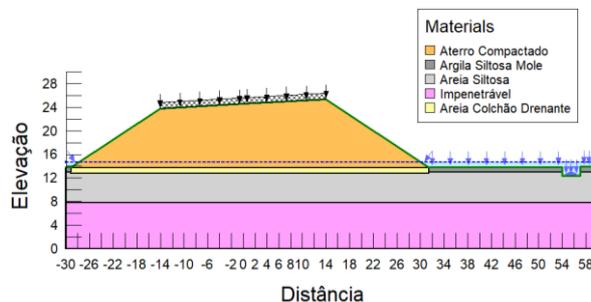


Figura 7. Seção típica do aterro analisado.

Para determinação dos fatores de segurança associados aos parâmetros do solo puro e mistura de solo com estabilizante, foi utilizado o software GeoStudio, em específico o módulo SLOPE/W, capaz de analisar a estabilidade de um talude através de diversos métodos e condições designadas pelos usuários. O método escolhido foi o de Bishop. A sobrecarga aplicada no aterro corresponde a 20 kN/m<sup>2</sup>. Além disso, foi inserida uma linha piezométrica à simulação.

### 3.4 Fator de Segurança

Para verificação da influência do estabilizante químico no fator de segurança na análise da estabilidade de taludes, a seção da Figura 7 foi utilizada, alterando o corpo do aterro pelos parâmetros do solo puro e da mistura (Figura 8). A declividade padrão da seção típica é de 1:1,5 (V:H). Os parâmetros utilizados para o corpo de aterro com solo puro e para a mistura estão presentes na Tabela 2. Os valores de peso específico ( $\gamma_d$ ) foram obtidos multiplicando a  $\rho_d$  máxima pela aceleração da gravidade ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ).

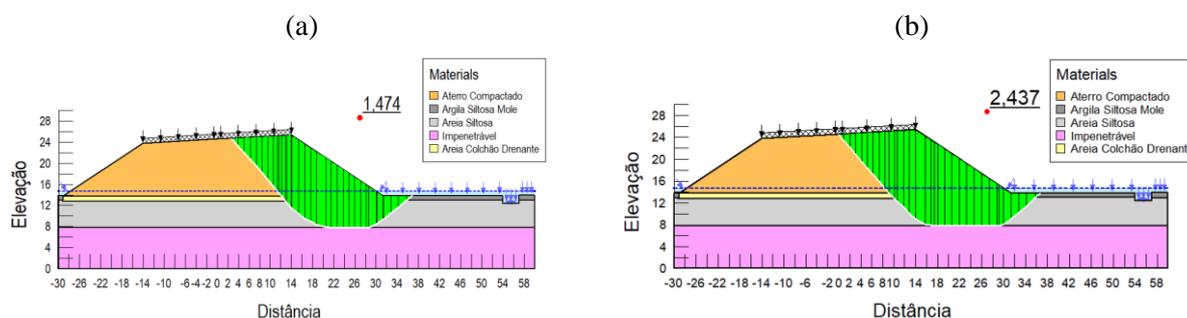


Figura 8. Fator de segurança com (a) solo puro e (b) solo + 5% de estabilizante.

Tabela 2: Parâmetros de resistência totais do solo puro e do solo + 5% de estabilizante.

Amostra	Modelo	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	Ângulo de atrito (°)	Intercepto coesivo (kPa)
Solo puro	Mohr-Coulomb	19,00	17	85
Solo + 5% de estabilizante	Mohr-Coulomb	18,50	24,3	230

Após realizar as análises com auxílio do software, é possível notar um aumento considerável no fator de segurança do aterro rodoviário, ao observar a Figura 8, partindo de 1,474 para 2,437.

## 4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados e análises, foi possível observar as mudanças adquiridas nos parâmetros de resistência ao se melhorar um solo com 5% de estabilizante químico a base de hidróxido de cálcio. A adição do estabilizante altera as características físicas do solo ao mudar sua classificação e plasticidade. Também foi observado um aumento na umidade ótima e uma diminuição na massa específica aparente seca máxima. Além disso, comprova-se o comportamento cimentante do estabilizante químico a partir do aumento da tensão desviadora de ruptura para uma mesma tensão confinante, como também altera o comportamento de ruptura do solo, tornando o mesmo frágil para tensões confinantes abaixo da tensão de cedência. Por fim, percebe-se o aumento no fator de segurança na análise de estabilidade de taludes ao utilizar os parâmetros obtidos pelo solo melhorado com 5% de estabilizante.

Portanto, ficou comprovado que o estabilizante químico utilizado nessa pesquisa proporciona aumento no intercepto coesivo para a faixa de tensão em estudo para o solo estudado e o teor analisado, confirmando a hipótese inicialmente tomada como verdadeira.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Sergipe, ao Departamento de Engenharia Civil e em especial ao Laboratório de Geotecnia e Pavimentação da UFS.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, L. A. de (2014) *Análise do comportamento mecânico de solos compactados e estabilizados quimicamente para uso em barragens*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016a). NBR 6457. *Amostra de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016b). NBR 6458. *Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, de massa específica aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016c). NBR 6459. *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016d). NBR 7180. *Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016e). NBR 7181. *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- ASTM International (2020). ASTM D-4767-11: *Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils*.
- Cruz, M. de L., Jalali S. (2010) Melhoramento do desempenho de misturas de solo-cimento com recurso a activadores de baixo custo. *Revista Geotecnia ABMS*, No. 120, p. 49-64.
- Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (1994). DNER-ME 228/94. *Solos – compactação em equipamento miniatura*. Rio de Janeiro.
- Geoinfo (2018) *Mapa exploratório – reconhecimento de solos do estado de Sergipe*. Disponível em: <[http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Asolos\\_\\_sergipe\\_wgs84](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Asolos__sergipe_wgs84)>. Acesso em: 01 fev. 2023.
- Gerscovich, D. M. S. (2016) *Estabilidade de taludes*, 2ª Edição, Oficina dos Textos, São Paulo.
- Jacomine, P. K. T. et al. (1975) *Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado de Sergipe*. Embrapa, Centro de Pesquisas Pedológicas, Recife.
- Júnior, C. M. A. (2016) *Estudo da influência da utilização de estabilizante a base de hidróxido de cálcio aditivado em amostras de solos para fins de pavimentação*. Trabalho de Conclusão de Curso, UFAC.
- Junior, L. da S. L. (2011) *Metodologia de previsão do comportamento mecânico de solos tratados com cal*. Tese de Doutorado, PPGEC/UFRGS.
- Martins, F. D. (2001) *Investigação do comportamento mecânico de um solo naturalmente estruturado*. Tese de Doutorado, PPGEC/UFRGS.
- Pinto, C. S. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas*, 3ª Edição, Oficina dos textos, São Paulo.
- Portelinha, F. H. M. et al. (2012) Influência dos mecanismos de reação nas propriedades físicas e químicas de dois solos tropicais melhorados com cimento e cal. *Revista Geotecnia ABMS*, No. 124, p. 5-30.
- Sachetti, A. S. (2014) *Nova abordagem para previsão de parâmetros de resistência ao cisalhamento de uma areia artificialmente cimentada*. Dissertação de Mestrado, PPGEC/UFRGS.
- Santana, R. M. S. (2023) *Análise da eficiência de estabilizante químico em solos utilizando a metodologia MCT*. Trabalho de Conclusão de Curso, UFS.